

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С
ДОГОВОРОМ О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)(19) ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
Международное бюро(43) Дата международной публикации:
14 февраля 2002 (14.02.2002)

PCT

(10) Номер международной публикации:
WO 02/13206 A1(51) Международная патентная классификация²:
H01B 12/00, 13/00, H01L 39/24

(21) Номер международной заявки: PCT/RU00/00521

(22) Дата международной подачи:
22 декабря 2000 (22.12.2000)

(25) Язык подачи: русский

(26) Язык публикации: русский

(30) Данные о приоритете:
2000121196 7 августа 2000 (07.08.2000) RU(71) Заявители (для всех указанных государств, кроме
(US): ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВА-
ТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ НЕОРГАНИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛОВ ИМЕНИ АКАДЕМИКА А.А. БО-
ЧВАРА» (RU/RU); 123060 Москва, ул. Толмачева, д. 5
(RU) [GOSUDARSTVENNOE PREDPRIYATIE
"VSEROSIISKY NAUCHNO-ISSLEDOVATEL-
SKY INSTITUT NEORGANICHESKIKH MATE-
RIALOV imeni Akademika A.A. BOCHVARA",
Moscow (RU). МИНИСТЕРСТВО РОССИЙС-
КОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
(RU/RU); 101000 Москва, ул. Большая Ордынка, д.
24/26 (RU) [MINISTRETVO ROSSYSKOI FEDE-
RATSHI PO ATOMNOI ENERGI, Moscow (RU)].

(72) Изобретатели: и

(75) Изобретатели/Заявители (только для (US): ВОРО-
БЬЕВА Александра Евгеньевна (RU/RU); 129301Москва, ул. Космонавтов, д. 14, корп. 3, к. 213
(RU) [VOROBIOVA, Alexandra Evgenievna,
Moscow (RU)]. АХМОВ Игорь Иванович (RU/
RU); 117607 Москва, ул. Раменки, д. 9, кв. 543
(RU) [AKIMOV, Igor Ivanovich, Moscow (RU)].
ЕМЕЛЬЯНОВ Александр Павлович (RU/RU);
123592 Москва, ул. Кулкова, д. 12, корп. 1, кв.
466 (RU) [EMEL'YANOV, Alexandr Pavlovich,
Moscow (RU)]. ДОКМАН Олег Валентинович
(RU/RU); 129347 Москва, Ярославское шоссе, д.
142, кв. 467 (RU) [DOKMAN, Oleg Valentinovich,
Moscow (RU)].(74) Агент: ФОРСТМАН Владимир Александрович;
123060 Москва, в/я 369, ВНИИМ (RU) [FORST-
MAN, Vladimir Alexandrovich, Moscow (RU)].

(81) Указанные государства (национально): JP, US.

(84) Указанные государства (регионально): европес-
кий патент (АТ, БЕ, СХ, СХ, ДК, ЕС, FI, FR,
GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Опубликована

С отчетом о международной заявке.
С измененной формулой изобретения и
объяснением.В отношении дружественных кодов, кодов языков и дру-
гих сокращений см. «Пояснения к кодам и сокращениям»,
публикуемые в начале каждого очередного выпуска Бюл-
летеня РСТ.

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING LARGE FLAT HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS

(54) Название изобретения: СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ШИРОКИХ ПЛОСКИХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХ-
ПРОВОДНИКОВ(57) Abstract: The invention relates to the production of large flat high-temperature superconductors used for developing
electrical articles. The inventive superconductors comprise high-temperature superconducting ceramic elements arranged inside
in case in the form of layers, or the high-temperature superconducting ceramic elements are arranged inside the case in the form
of layers with reinforcing elements arranged between said superconducting ceramic elements. After elements complex
thermomechanical processing, the ratio of the surface area of the high-temperature superconducting ceramic elements to the
maximum dimensions of the flat superconductor with respect to each layer of the superconducting ceramic elements, ranges
correspondingly from 0.03 to 2 m. The critical current of the produced flat superconductors having the width value of up to 1 m
or up to 1.5 m using the reinforcing elements is not less than 560 A.

[Продолжение на след. странице]

WO 02/13206 A1

WO 02/13206 A1



(57) Реферат:

Изобретение относится к производству широких плоских сверхпроводников, предназначенных для создания электротехнических изделий. Полученные сверхпроводники состоят из элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики, помещенных послойно в оболочку, или из элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики, помещенных послойно в оболочку и армирующих элементов, расположенных между элементами сверхпроводящей керамики, которые после сложной термомеханической обработки имеют отношение общей площади поверхности элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики к максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника на каждый слой сверхпроводящей керамики, равное 0,03-2 м и 0,03-3 м, соответственно. Критический ток полученных плоских сверхпроводников шириной до 1 м или до 1,5 м с использованием армирующих элементов составляет не менее 560 А.

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

1

Способ получения широких плоских высокотемпературных сверхпроводников.

Область техники

Изобретение относится к электротехнике, в частности, к высокотемпературным сверхпроводникам и может быть использовано для изготовления сверхпроводящих, критические характеристики и типоразмеры которых позволяют значительно расширить перечень электротехнических изделий, при изготовлении которых применяются высокотемпературные сверхпроводящие материалы.

Предшествующий уровень техники

С момента открытия керамических оксидных высокотемпературных сверхпроводников исследование их химических, физических свойств, а также потенциальных возможностей для их использования нашло отражение во многих публикациях. Большое количество охраняемых документов выдано как на способы изготовления сверхпроводящих материалов, проводников на их основе, так и на способы улучшения механических свойств и повышения критических характеристик высокотемпературных сверхпроводников.

В настоящее время оксидные сверхпроводящие материалы нашли широкое применение в электротехнике и в областях техники, связанных с использованием магнитных полей.

Для улучшения механических свойств и обеспечения возможности изготовления длинномерных проводников сверхпроводящих керамический материал заключают в металлическую оболочку, как правило из серебра или сплава на его основе, поскольку показано, что эти материалы не приводят к деградации сверхпроводящих свойств керамики, позволяют (при определенных условиях) достичь совершенства текстуры керамической сердцевинки, а также позволяют уплотнить керамику в процессе деформации. Однако, при использовании одножильных проводников механические свойства серебра недостаточны для того, чтобы обеспечить прочность проводника, необходимую при изготовлении из него катушек, используемых в условиях высоких магнитных полей. В работах ряда исследователей, например: S.X.Dou, N.K.Liu, J.C.Guo in Appl. Phys. Lett, 60, 1992, p.2929; H.Mukai, et al in Paper, presented at the MRS Spring Meeting, San Francisco, CA, 27 April- 1 May 1992 и в др., было

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

2

показано, что устойчивость многожильных проводников значительно повышается по сравнению с одложильными. Кроме того, многожильная конструкция более надёжна, поскольку повреждение одной из жил не влечёт выхода из строя изделия, в котором использован сверхпроводник. При правильном подборе последовательности расположения слоёв (жил) и выборе технологических операций и их режимов могут быть получены длинномерные (до 100 м и выше) провода и ленты с однородными жилами без разрыва сверхпроводящего слоя и высокими критическими характеристиками (см. выше). Наиболее простым и отработанным способом с воспроизводимыми результатами, приемлемым для изготовления высокотемпературных сверхпроводников в виде проводов и лент, является так называемый способ "порошок в трубе", включающий три стадии:

- получение исходного порошка (прекурсора) для формирования сверхпроводящей керамики требуемого химического и фазового состава;
- формирование заготовки для получения композиционного проводника, причём в случае многожильного проводника сложную заготовку формируют из отрезков, предварительно полученной моножилы нужного диаметра или толщины, заключая их в оболочку из металла, в основном из серебра или сплава на его основе, (моножилу получают деформацией ампульно-порошковой системы -трубчатой заготовки, заполненной порошком-прекурсором);
- термомеханическая обработка сложной заготовки, которая заключается в чередовании циклов термо- и механической обработок(деформаций). Необходимость повторения этих циклов для формирования высокотемпературной сверхпроводящей фазы требуемого состава и структуры, повышения значений критического тока, снятия напряжений в композите доказана экспериментально.

Информация, касающаяся способа "порошок в трубе" опубликована в ряде работ: K.Heine et. al. "High-filed critical current densities in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_x\text{O}_y/\text{Ag}$ wires", 'Appl. Phys. Lett. 55(23), Dec.1989; Kumakura et.al. "Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu-O Superconducting Composite Tapes Prepared by the Powder Method Using an Ag Sheath", J.Appl. Phys. 67(7) Apr.1990, p.p. 3443-3447; Haldar P. and Motowidlo L. "Processing High Critical Current Density Bi-2223 Wires and Tapes", JOM, Vol.44,

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

3

No 10, October 1992, p.p. 54-58; Schuster Th. et. al. "Current capability of filaments depending on their position in $\text{Bi}(\text{Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ - multifilament tapes", Appl. Phys. Lett., Vol. 69, p.p. 1954-1956, 1996 и др.

5 На способы изготовления многожильных композиционных высокотемпературных сверхпроводников, в основе которых лежит технология "порошок в трубе", выдано большое количество охранных документов.

Технические решения, которые защищены выданными патентами, направлены на достижение таких целей, как повышение значений критического тока, критической плотности тока, улучшение механической прочности: Патент
10 США № 5369089, Н 01 L 39/24, 1994; Международная заявка № 99/13517, Н 01 L 39/24, 1999; Международная заявка № 99/33123, Н 01 В 12/50, 1999; Международная заявка № 00/38251, Н 01 L 39/24, 2000 и др.

Деформацию трубки, заполненной порошком- прекурсором (ампульно- порошковой системы) осуществляют любым методом механической
15 обработки, позволяющим уменьшить поперечное сечение (обжатие, волочение, прокатка, прессование). В случае, когда обработку проводят с большой степенью деформации, за ней следует термообработка (для снятия механического напряжения в металле) при температурах, не вызывающих реакции между компонентами прекурсора, плавления или роста зёрен металла
20 оболочки. Операции деформации в циклах термомеханической обработки сложной заготовки проводят обычно путём прокатки или волочения, с помощью которых добиваются требуемой ориентации зёрен прекурсора сверхпроводящего материала (текстурирования), что способствует росту хорошо текстурированных зёрен спечённого сверхпроводящего материала в ходе
25 последующей термообработки. Серия термообработок также типична для стадии термомеханической обработки- в процессе отжига происходит реакция образования керамического сверхпроводящего материала конечной высокотекстурированной фазы. Термомеханическая обработка может быть осуществлена, например, так, как она представлена в работах S.X.Dou и др.,
30 Н. Mukai и др., Р. Halder and L. Motowidlo, Патент США 5369089, Международная заявка № 99/33123, приведенных выше, и в других публикациях.

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

4

Известные способы позволяют получать короткие и длинномерные композиционные сверхпроводники ленточной формы, состоящие из оболочки, выполненной из серебра или сплава на его основе, внутри которой послойно расположены элементы высокотемпературной сверхпроводящей керамики.

- 5 Ширина таких сверхпроводников, как правило, составляет не более 3-6 мм (до 10-15 мм), отношение общей площади поверхности элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики к максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника составляет не более 0,03 м на каждый сверхпроводящий слой, величина критического тока достигает 70 А.

- 10 Как отмечалось выше, технические задачи известных способов состоят, в основном, в повышении величины плотности критического тока, улучшении механической прочности сверхпроводников, снижении их себестоимости. Поставленные задачи определяются сферой их использования и требованиями рынка сбыта. Такие проводники применяют для изготовления
- 15 кабелей, магнитов, генераторов, трансформаторов и так далее. Потребительские свойства сверхпроводников, которые изготавливают известными способами, в достаточной степени удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям.

- Однако, в настоящее время появился практический интерес к
- 20 высокотемпературным сверхпроводникам в сфере производства электротехнических изделий, например, магнитных экранов, тоководов и других, для изготовления которых требуются сверхпроводящие материалы, обладающие наряду с высокими показателями механической прочности и критического тока ещё и значительными типоразмерами. В связи с этим на
- 25 сегодняшний день актуален высокопроизводительный, непрерывный способ производства таких сверхпроводящих материалов, технология которого проста и не требует применения принципиально нового оборудования. Поскольку наиболее благоприятные условия для протекания больших токов в оксидных сверхпроводниках реализуются на границе раздела керамика-оболочка, для
- 30 повышения критического тока необходимо увеличивать площадь поверхности раздела керамика-оболочка. Конструктивно легче всего этого можно достичь путём увеличения ширины сверхпроводника. Однако, это является сложной задачей как с точки зрения деформаций, преследующих цель сформировать

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

5

проводник требуемых типоразмеров без нарушения целостности оболочки и геометрии сердцевины, так и с точки зрения термомеханической обработки, включающей несколько стадий термообработки с промежуточными деформациями между этими стадиями, или термообработки, преследующих

5 цель сформировать в керамической сердцевине фазу требуемого состава и структуры.

Наиболее близким по достигаемому техническому результату является способ получения оксидных сверхпроводников висмутовой керамики, согласно патенту США № 5369089 (см. выше), использующий, в принципе,

10 технологию "порошок в трубе". Способ предусматривает следующие стадии: подготовку исходного порошка для получения сверхпроводящей керамики; формирование ампульно- порошковой системы; деформацию, преимущественно волочением, ампульно- порошковой системы до диаметра 1 мм с последующей прокаткой до толщины 0,2 мм и длины порядка 20 м; формирование сложной

15 заготовки путём наложения полученных лент друг на друга; термообработку сложной заготовки при 840 °C в течение 50 часов (с целью взаимной диффузии металлических компонентов); механическую обработку прокаткой со степенью деформации за проход до 40 %; термообработку в течение 50 часов при 840 °C.

Способ позволяет получать плоские длинномерные

20 сверхпроводники с высокими механическими свойствами, величинами критического тока и плотности критического тока в жидком азоте, составляющими 240 А и 22000 А/см², соответственно.

Однако, не позволяет увеличить ширину сверхпроводников до 1-1,5 м, что значительно сужает перечень электротехнических изделий, при

25 изготовлении которых применяются высокотемпературные сверхпроводящие материалы.

Наиболее близким по технической сути к предлагаемому техническому решению является способ получения многожильных лент, описанный в статье Haldar P. and Motowidlo L. "Processing High Critical Current

30 Density Bi-2223 Wires and Tapes", JOM, Vol.44, No 10, October 1992, p.p. 54-58, включающий: формирование полой металлической ампулы круглого поперечного сечения (трубы), заполнение трубы порошком висмутовой керамики, волочение полученной ампульно- порошковой системы через волоку с

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

6

калибрующим пояском круглого поперечного сечения до требуемого диаметра, резку проволочечной ампульно- порошковой системы на мерные части, формирование сложной заготовки путём размещения в металлической заготовке оболочки круглого поперечного сечения требуемого количества мерных

5 составных частей, деформацию сложной заготовки сначала волочением- до требуемого диаметра, а затем- прокаткой до требуемых размеров сверхпроводника ленточной формы и термомеханическую обработку, включающую термообработку в две стадии с промежуточными прокатками между стадиями термообработки.

10 Недостатками способа являются как малая ширина лент, составляющая, в основном, 3-6 мм и не превышающая 10-15 мм, что не может удовлетворить всё возрастающие потребности в высокотемпературных сверхпроводящих соединениях различных типоразмеров, необходимых для создания электротехнических изделий, так и малые критические токи, связанные с малой

15 площадью границ раздела керамика-оболочка у узких лент по сравнению с широкими.

Других публикаций о способах получения плоских сверхпроводящих материалов, имеющих ширину более 15 мм и величину критического тока, превышающую 240 А в процессе поиска не обнаружено.

20 Раскрытие изобретения

Целью настоящего изобретения является способ изготовления высокотемпературных сверхпроводников с высокими критическими токами, имеющих достаточную ширину как коротких, так и длинномерных многожильных лент, для расширения сферы их использования.

25 Поставленная цель достигается решением технической задачи, состоящей в увеличении площади поверхности керамического сверхпроводящего материала, граничащего с металлом, поскольку именно на границе раздела керамика- металл в композиционных сверхпроводниках реализуются наиболее благоприятные условия для протекания высоких токов.

30 Поставленная задача решается совокупностью операций способа "порошок в трубе", технологические параметры которых установлены экспериментально и позволяют устранять указанные выше недостатки существующих на сегодняшний день и опубликованных способов.

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

7

В соответствии с предлагаемым изобретением, в способе, включающем формирование полой металлической ампулы, заполнение ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката, деформацию полученной ампульно- порошковой системы до требуемого размера, резку деформированной ампульно- порошковой системы на мерные части, формирование сложной заготовки путём размещения в металлической оболочке требуемого количества мерных составных частей, деформацию сложной заготовки до требуемых размеров, термомеханическую обработку, полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката требуемого состава из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила 20- 75%, деформируют ампульно- порошковую систему до толщины 0,35- 5 мм со степенью деформации за проход 1- 20 %, оболочку сложной заготовки изготавливают в виде полого профиля овалообразного поперечного сечения или прямоугольного поперечного сечения и помещают в неё необходимое количество мерных частей деформированной ампульно- порошковой системы или необходимое количество мерных частей деформированной ампульно-порошковой системы и армирующих элементов требуемого вида, с требуемым расположением друг относительно друга, из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного сверхпроводника 25-70 %, деформируют сложную заготовку до требуемых размеров со степенью деформации за проход 1- 18 %, термомеханическую обработку, включающую несколько стадий термообработки с промежуточными деформациями между ними, проводят при температуре и в течение времени, обеспечивающих формирование в керамике сверхпроводящей фазы требуемого состава и структуры.

При этом ампульно- порошковую систему деформируют продольно-поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 1-20%, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 1- 18 %.

Металлическую оболочку овалообразного поперечного сечения получают из заготовки круглого поперечного сечения осадкой под размер. Деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят продольно-поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

8

со степенью деформации за проход 1-18%, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 1- 16%.

Кроме того, промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 1- 20%, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2- 15 %.

При изготовлении плоского сверхпроводника на основе иттриевой керамики типа Y-123, висмутовой керамики типа Bi-2212, Bi-2223 заполнение ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила 20- 75 % обеспечивает требуемое соотношение материалов керамики и оболочки в моножиле и возможность проведения с ампульно- порошковой системой технологических операций (например, деформаций, отжига), необходимых для изготовления ленты. Деформация ампульно-порошковой системы до толщины 0,35- 5 мм волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 1- 18 %, продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 1- 20 %, обеспечивает получение деформированной ампульно- порошковой системы требуемых форморазмеров, мерные части которой используются для составления сложной заготовки.

Прямоугольное или овалообразное поперечное сечение обеспечивает, в свою очередь, получение сложной заготовки требуемого поперечного сечения.

Формирование заготовки оболочки осадкой под размер заготовки круглого поперечного сечения обеспечивает получение сложной заготовки овалообразного поперечного сечения. Сложная заготовка овалообразного поперечного сечения или прямоугольного поперечного сечения получается после размещения в металлической заготовке оболочки требуемого количества мерных частей деформированной ампульно- порошковой системы или требуемого количества мерных частей деформированной ампульно- порошковой системы и армирующих элементов из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного изделия 25- 70 %. Такую сложную заготовку деформируют, минуя процесс волочения через волоку с калибрующим поясом круглого поперечного сечения.

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

9

Деформация сложной заготовки продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 1-18 % или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 1-16 % до требуемого размера(например, 0,35-0,45 мм) обеспечивает требуемую геометрию ленты и необходимое состояние керамической сердцевины (в основном, по плотности) . При этом волочение в роликовой волоке (по сравнению с волочением через волоку с калибрующим пояском круглого поперечного сечения) резко уменьшает силу трения и, следовательно, улучшает качество геометрии многожильной сложной заготовки и многожильной ленты за счёт более равномерного распределения напряжений деформирования по сечению. Деформация поперечной и продольно-поперечной прокаткой, представляющей собой попеременное чередование продольных и поперечных прокаток в заданной последовательности, обеспечивает требуемые характеристики (например, длину, ширину, толщину) на коротких лентах (длина определяется геометрией используемых валков), деформация же продольной прокаткой и волочением в роликовой волоке обеспечивают требуемые характеристики как на коротких, так и на длинномерных лентах.

Термомеханическая обработка, включающая несколько стадий термообработки с промежуточными деформациями между ними со степенью деформации за проход 1-20% обеспечивает формирование фазы требуемого состава и структуры в керамической сердцевине. При этом промежуточные деформации продольной прокаткой со степенью деформации за проход 1- 20 % и волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2-15 % обеспечивают требуемые характеристики на лентах различной длины, а промежуточные деформации поперечной прокаткой и продольно- поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 1-20 % обеспечивают требуемые характеристики на коротких лентах(длина ленты определяется геометрией используемых валков).

При заполнение ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила менее 20 % в ходе деформации происходит "разрыв" керамической сердцевины, вызванный смятанием материала оболочки, расположенного с разных сторон

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

10

сердцевины. При заполнении ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката из расчёта конечного коэффициента заполнения мозожили более 75 % не удастся получить требуемую толщину керамики после деформации ампульно- порошковой системы.

- 5 При деформации полученной на предыдущем этапе ампульно- порошковой системы до толщины 0,35-5 миллиметров продольно- поперечной или продольной, или поперечной прокаткой, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее 1% происходит нарушение геометрических размеров провода- появляется так называемая волнообразность по длине. При деформации ампульно- порошковой системы продольно- поперечной или продольной, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход более 20 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 18 % происходит разрыв оболочки (от мелких трещин до её полного разрушения), что приводит к обрыву провода.
- 10 При формировании сложной заготовки путём размещения в металлической заготовке оболочки прямоугольного или овалообразного поперечного сечения требуемого количества мерных частей деформированной ампульно- порошковой системы или требуемого количества мерных частей деформированной ампульно- порошковой системы и армирующих элементов, из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного изделия (например, ленты) менее 25 % не удастся получить требуемого количества керамических жил, что приводит к большому расходу материала оболочки (например, серебра) и резкому уменьшению конструктивной плотности тока (току, отнесённому к сечению всего проводника, включая площадь керамики и оболочки), а увеличение коэффициента заполнения выше 70 % приводит к смыканию керамических жил друг с другом в процессе деформации сложной заготовки, что нарушает геометрию провода и приводит к уменьшению плотности критического тока (току, отнесённому к площади поперечного сечения керамики).

- 30 При деформации сложной заготовки до требуемого размера (например, 0,38 мм) волочением в роликовой волоке или продольно- поперечной, или поперечной, или продольной прокаткой со степенью деформации за проход менее 1 % происходит нарушение геометрических размеров провода- появляется

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

11

так называемая волнообразность по длине. При деформации сложной заготовки
волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 16 %
или продольно-поперечной, или поперечной, или продольной прокатками со
степенью деформации за проход более 18 % происходит разрыв оболочки (от
5 мелких трещин до её полного разрушения), что приводит к обрыву провода.

При проведении промежуточных деформаций (на стадии
термомеханической обработки) волочением в роликовой волоке со степенью
деформации за проход менее 2% или продольно-поперечной, или поперечной,
или продольной прокатками со степенью деформации за проход менее 1%
10 происходит нарушение геометрических размеров провода- появляется так
называемая волнообразность по длине. При проведении промежуточных
деформаций волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход
более 15 % или продольно-поперечной, или поперечной, или продольной
прокатками со степенью деформации за проход более 20 % происходит разрыв
15 оболочки (от мелких трещин до её полного разрушения), что приводит к обрыву
провода.

Проведение термомеханической обработки при температурах ниже или
выше указанных интервалов температур для всех типов высокотемпературной
сверхпроводящей керамики не позволяет сформировать в керамической
20 сердцевине сверхпроводящую фазу требуемого состава и структуры.

Проведение данных операций в описанной последовательности с
установленными технологическими параметрами привело к появлению нового
технического результата: увеличению критического тока изделия за счёт
увеличения площади поверхности раздела керамика-оболочка, а также
25 расширению сфер использования за счёт увеличения ширины как коротких, так
и длиномерных многожильных лент.

У сверхпроводника (например, в виде ленты), состоящего из
элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики, заключённых
последовательно в оболочку, отношение общей площади поверхности
30 сверхпроводящей керамики на единицу максимального габаритного размера
сверхпроводника увеличивают до 0,03м-2м на каждый слой сверхпроводящей
керамики путём увеличения ширины сверхпроводника с 3 мм до 1 м.

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

12

В сверхпроводнике, состоящем из элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики, заключённых послойно в оболочку, и армирующих элементов, которые расположены послойно между элементами высокотемпературной сверхпроводящей керамики, путем увеличения ширины
5 сверхпроводника с 3 мм до 1,5 м увеличивают отношение общей площади поверхности сверхпроводящей керамики на единицу максимального габаритного размера сверхпроводника до 0,03- 3 м на каждый слой сверхпроводящей керамики. В таком сверхпроводнике отношение общей
10 площади поверхности армирующих элементов к максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника составляет также 0,03- 3 м на каждый слой армирующих элементов.

Оболочка и армирующие элементы выполнены из материала не приводящего к деградации сверхпроводящих свойств керамики. Оболочка выполнена, например, из золота или серебра, или сплавов на основе серебра,
15 например, сплавов серебра и золота или сплавов серебра и никеля. Армирующие элементы выполнены, например, из никеля или упрочнённого сплава на основе серебра, например, сплава серебра и никеля, сплава серебра и иттрия.

Один или несколько армирующих элементов расположены слоем или слоями между элементами высокотемпературной сверхпроводящей керамики,
20 при этом, армирующие элементы расположены чередующимися слоями со слоями высокотемпературных сверхпроводящих элементов. При этом, армирующие элементы выполнены в виде стержней или в виде пластин.

В результате у сверхпроводника, состоящего из элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики, заключённых послойно в оболочку или сверхпроводника состоящего из элементов высокотемпературной
25 керамики и армирующих элементов, расположенных требуемым образом друг относительно друга, с отношением общей площади поверхности сверхпроводящей керамики на единицу максимального габаритного размера сверхпроводника 0,02 м- 2 м и 0,02 м- 3 м на каждый слой сверхпроводящей
30 керамики, соответственно, увеличен критический ток за счёт увеличения площади поверхности раздела керамика-оболочка при увеличении габаритных размеров изделия.

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

13

Увеличение отношения общей площади поверхности сверхпроводящей керамики на единицу максимального габаритного размера сверхпроводника до 0,02м²/3 м на каждый слой сверхпроводящей керамики путём увеличения ширины сверхпроводника приводит к увеличению площади поверхности раздела керамика-оболочка и увеличению критического тока.

При увеличении отношения общей площади поверхности сверхпроводящей керамики на единицу максимального габаритного размера сверхпроводника до значения менее 0,03м² на каждый слой сверхпроводящей керамики не происходит значительного увеличения критического тока изделия и его габаритных размеров.

Увеличении отношения общей площади поверхности сверхпроводящей керамики на единицу максимального габаритного размера сверхпроводника до значения более 2м (3м – в случае использования армирующих элементов) на каждый слой сверхпроводящей керамики лимитируется, с одной стороны, особенностями схемы деформации и прочностными характеристиками изделия, с другой стороны, качеством границы раздела керамика-оболочка и геометрией сердцевинны. То есть, на существующем в настоящее время оборудовании для обработки материалов давлением затруднительно получение изделий на основе высокотемпературной сверхпроводящей керамики с отношением общей площади поверхности сверхпроводящей керамики на единицу максимального габаритного размера сверхпроводника более 2м (3м – в случае использования армирующих элементов) на каждый слой сверхпроводящей керамики при требуемом качестве границы раздела керамика-оболочка, геометрии керамической сердцевинны и прочностных характеристиках изделия.

При увеличении отношения общей площади поверхности армирующих элементов на единицу максимального габаритного размера сверхпроводника до значения менее 0,03м² на каждый слой сверхпроводящей керамики не происходит требуемого увеличения прочностных характеристик изделия при увеличении его габаритных размеров.

Увеличение отношения общей площади поверхности армирующих элементов на единицу максимального габаритного размера сверхпроводника до значения более 3м на каждый слой сверхпроводящей керамики лимитируется, с одной стороны, особенностями схемы деформации и прочностными

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

14

- характеристиками изделия, с другой стороны, качеством границы раздела керамика-оболочка и геометрии сердцевины. То есть, на существующем в настоящее время оборудовании для обработки материалов давлением затруднительно получение изделий на основе высокотемпературной
- 5 сверхпроводящей керамики с армирующими элементами при отношении общей площади поверхности армирующих элементов на единицу максимального габаритного размера сверхпроводника более 3м на каждый слой сверхпроводящей керамики при требуемом качестве границы раздела керамика-оболочка, геометрии керамической сердцевины и прочностных характеристиках
- 10 изделия.

- Увеличение отношения общей площади поверхности сверхпроводящей керамики на единицу максимального габаритного размера сверхпроводника, состоящего из элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики, заключённых посплою в оболочку, до 0,03 м- 2 м на каждый слой
- 15 сверхпроводящей керамики, а также увеличение отношения общей площади поверхности сверхпроводящей керамики на единицу максимального габаритного размера сверхпроводника до 0,03 м- 3 м на каждый слой сверхпроводящей керамики и расположение армирующих элементов требуемым образом между элементами высокотемпературной сверхпроводящей
- 20 керамики так, что отношение общей площади поверхности армирующих элементов к максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника составляет также 0,03- 3 м на каждый слой армирующих элементов, привело к появлению нового технического результата: увеличению критического тока изделия за счёт увеличения площади поверхности раздела керамика-оболочка, а
- 25 также расширению сфер использования за счёт увеличения ширины как коротких, так и длинномерных многожильных лент.

Варианты осуществления изобретения

- Предлагаемое изобретение даёт возможность изготавливать плоские высокотемпературные сверхпроводники, ширина которых может достигать 1,5 м
- 30 при высоких критических характеристиках, используя способ "порошок в трубе". С помощью способа, согласно изобретению, могут быть получены сверхпроводники на основе оксидных керамических материалов различных составов.

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

15

- Первой стадией способа по первому варианту осуществления изобретения является формирование ампульно- порошковой системы путём заполнения металлической ампулы, выполненной из серебра или упрочнённого сплава на основе серебра, например, сплава Ag + 1 вес.% Mg, порошком
- 5 сверхпроводящего соединения или полуфабриката. Ампулу заполняют порошком в контролируемой атмосфере на вибрационной установке из расчёта конечного коэффициента заполнения моножилы 20-75 %, в зависимости от требуемого соотношения материалов керамики и оболочки, предпочтительно 40 % для керамики Bi-2223, 30 % для керамики Bi-2212, 35 % для керамики
- 10 Y-123. Для всех типов керамики экспериментально установлено, что при заполнении ампулы порошком из расчёта коэффициента заполнения моножилы менее 20 %, в ходе деформации на различных участках происходит смыкание материала оболочки, вызывающее "разрыв" керамической сердцевины. В случае, если коэффициент заполнения моножилы превышает 75 %, практически не удастся получить требуемую толщину керамики. Затем
- 15 полученную ампульно- порошковую систему деформируют до толщины 0,35 – 5 мм, предпочтительно до 1-2 мм, в зависимости от требуемой ширины проводника. Деформацию осуществляют либо прокаткой, либо волочением в роликовой волоке. В случае получения длинномерных сверхпроводников ампульно-порошковую систему деформируют волочением или продольной
- 20 прокаткой, а в случае изготовления коротких сверхпроводников кроме вышеуказанных методов эффективны также продольная и продольно-поперечная прокатки. Степень деформации ампульно- порошковой системы составляет 1-20 % в зависимости от требуемой "геометрии" моножилы (равномерности керамической жилы по продольному и поперечному сечению). При деформации прокаткой предпочтительна степень деформации за
- 25 проход 1-20 %, а при волочении в роликовой волоке 1-18 %.

- Для всех типов керамики экспериментально доказано, что во время деформации ампульно- порошковой системы до вышеуказанной толщины,
- 30 осуществляемой любым из перечисленных способов со степенью деформации за проход менее 1%, происходит нарушение геометрических размеров моножилы ("волокообразность" по длине). Деформация же прокаткой со степенью деформации за проход более 20 % (а в роликовой волоке- более 18 %)

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

16

- приводит к возникновению в оболочке трещин, в ряде случаев происходит её разрушение, а следовательно- разрыв провода. Моножилу плоского поперечного сечения, полученную в результате уменьшения толщины ампульно- порошковой системы, режут на мерные части требуемой длины, из которых
- 5 затем формируют сложную заготовку, помещая в оболочку из серебра или сплава на его основе, предпочтительно сплава $Ag + 1$ вес. % Mg . Полный профиль сложной заготовки предпочтительно овалообразный или прямоугольной формы, так как он должен быть максимально приближен по форме к получаемому плоскому сверхпроводнику. Овалообразный профиль
- 10 обеспечивают осадкой круглой оболочки под требуемый размер. Прямоугольный профиль сложной заготовки получают, помещая мерные части моножилы полойно в короб с прямоугольным поперечным сечением. Для получения проводника требуемой конструкции количество мерных частей при формировании сложной заготовки берут из расчёта конечного коэффициента
- 15 заполнения многожильного плоского сверхпроводника 25-70 %, предпочтительно 30-40 %. Моножилы в оболочке сложной заготовки располагают в зависимости от требуемой конструкции проводника, определяемой областью его применения. Полученную сложную заготовку деформируют до требуемого размера, требуемой геометрии и необходимого
- 20 состояния керамической сердцевины. Деформацию осуществляют либо прокаткой со степенью деформации за проход 1-18 % в зависимости от требуемой "геометрии" жил или слоёв (равномерности керамической жилы или слоя по продольному и поперечному сечению), либо волочением в роликовой волоке со степенью деформации 1-16 %. Поперечная и продольно- поперечная
- 25 прокатки обеспечивают заданные характеристики (длину, ширину, толщину) коротких лент, продольная же прокатка или волочение в роликовой волоке обеспечивают необходимые характеристики как на коротких, так и на длинномерных лентах. На коротких лентах предпочтительна деформация продольно- поперечной прокаткой.
- 30 Плоский сверхпроводник, полученный в результате деформаций подвергают термомеханической обработке, которая включает несколько термообработок с промежуточными деформациями. Температурный режим, степень деформации за проход во время операций термообработки и

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

17

- промежуточных деформаций, а также количество и длительность стадий термомеханической обработки в целом определяются типом каждой конкретной керамики, точнее условиями формирования в керамической сердцевине сверхпроводящей фазы требуемого состава и структуры, а также
- 5 требуемой "геометрией" полужастьев лент.

- Общими предельными значениями степеней деформации за проход при деформации сложной заготовки для всех типов керамики являются 1- 18 % при прокатке и 1-16 % при волочении в роликковой волоке. Для промежуточных деформаций эти значения составляют 1-20 % и 2-15 %, соответственно. Так же,
- 10 как в случае деформации ампульно- порошковой системы, нарушение граничных значений степени деформации за проход в ту или другую сторону приводит к нарушению геометрических размеров проводника или к разрушению оболочки.

- Промежуточные деформация продольной прокаткой или волочением в роликковой волоке обеспечивают требуемые характеристики на лентах различной длины. Деформация поперечной или продольно- поперечной прокаткой эффективна на коротких лентах. Предпочтительной для коротких лент является продольно- поперечная прокатка. Ширина получаемых по
- 15 первому варианту изготовления осуществления изобретения сверхпроводников составляет до 1 м.

- По второму варианту осуществления изобретения сложную заготовку формируют из оболочки овалообразного или прямоугольного поперечного сечения, мерных частей моноволны требуемых типоразмеров, полученных также как в первом варианте осуществления изобретения, и
- 25 армирующих элементов требуемого вида (прутков или пластин). Наличие армирующих элементов позволяет усилить ширину сверхпроводника до 1,5 м. При отсутствии армирующих элементов достигнуть ширины сверхпроводника более 1 м не удастся из-за проблем, связанных с нарушением "геометрии" проводника и целостности сложной заготовки больших размеров при
- 30 деформациях.

Армирующие элементы выполняют из материала, который не приводит к значительной деградации сверхпроводящих свойств керамики (например, упрочняющего сплава на основе серебра, преимущественно сплава

WQ 02/13206

PCT/RU00/00521

18

серебра и никеля, серебра и иттрия или серебра и меди). Армирующие элементы могут быть расположены послойно (один или несколько армирующих элементов в слое), чередуясь слоями относительно слоев мерных частей моножилы. Количество и расположение мерных частей моножилы и армирующих элементов определяется из конструктивных соображений с учётом целостности сложной заготовки при её последующей деформации, требований к "геометрии" сверхпроводника, областями использования сверхпроводника.

Деформацию сложной заготовки, сформированной таким образом, осуществляют аналогично деформации сложной заготовки по первому варианту осуществления изобретения.

Ниже представлено описание основных технологических операций способа, согласно изобретению, технологические параметры которых (коэффициенты заполнения моножилы и многожильного изделия, степени деформации за проход для всех стадий технологического цикла, температурный режим и продолжительность стадий термообработок) для конкретных типов высокотемпературной керамики установлены экспериментально.

При изготовлении высокотемпературного сверхпроводника на основе керамики типа Y-123 полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего соединения иттриевой керамики состава Y-123 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножилы 20- 75 %, деформируют ампульно- порошковую систему до толщины 0,35- 5 мм со степенью деформации за проход 1- 20 %, формирование сложной заготовки проводят из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 25- 70 %, деформируют сложную заготовку до требуемых размеров со степенью деформации за проход 1- 18 %, термомеханическую обработку проводят при температуре 920- 960 °С в течение 250- 300 часов с промежуточными деформациями за проход 1- 20 %. При этом ампульно-порошковую систему деформируют: продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 1-20 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 1-18 %, деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят: продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 1-18 %, или

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

19

- волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 1-16 %, промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят: продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 1-20 %, или волочением в
- 5 роликовой волоке со степенью деформации за проход 2-15 %.

- При заполнении нолой металлической ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката иттриевой керамики состава Y-123 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила менее 20 % происходит разрыв керамической сердцевины, при увеличении коэффициента
- 10 заполнения моножила более 75 % не удаётся получить требуемую толщину керамики после деформации ампульно- порошковой системы. При деформации полученной ампульно- порошковой системы до толщины 0,35- 5 мм продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее
- 15 1 % происходит нарушение геометрических размеров провода, появляется так называемая волнообразность по длине. При деформации ампульно- порошковой системы продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход более 20 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 18 %
- 20 происходит разрыв оболочки. При формировании сложной заготовки из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника менее 25 % не удаётся получить требуемого количества керамических жил, а увеличение коэффициента заполнения выше 70 % приводит к смыканию жил друг с другом, что нарушает геометрию провода. При деформации сложной
- 25 заготовки до требуемой толщины продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее 1 % происходит нарушение геометрических размеров провода, появляется так называемая волнообразность по длине. При деформации сложной заготовки продольно- поперечной
- 30 прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход более 18 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 16 % происходит разрыв оболочки. Проведение термомеханической обработки при температуре ниже 920 °C и

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

20

выше 960 °C в течение общего времени менее 250 часов и более 300 часов не позволяет сформировать в керамической сердцевине сверхпроводящую фазу требуемого состава и структуры. При проведении промежуточных деформаций на стадии термомеханической обработки продольно- поперечной прокаткой или 5 продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход менее 1 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее 2 % происходит нарушение геометрических размеров провода, появляется ,так называемая, волнообразность по длине. При проведении промежуточных деформаций продольно- поперечной прокаткой или продольной 10 прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход более 20 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 15 % происходит разрыв оболочки.

При изготовлении высокотемпературного сверхпроводника на основе керамики типа Bi-2212 полую металлическую ампулу заполняют порошком 15 сверхпроводящего соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики состава Bi-2212 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила 20- 60 %, деформируют ампульно- порошковую систему до толщины 0,45- 5 мм со степенью деформации за проход 1- 15 %, формирование сложной заготовки проводят из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного 20 плоского сверхпроводника 25- 55 %, деформируют сложную заготовку до требуемых размеров со степенью деформации за проход 1- 12 %, термомеханическую обработку проводят при температуре 840 - 900 °C в течение общего времени 50- 150 часов, с промежуточными деформациями со степенью деформации за проход 1- 15 %. При этом ампульно- порошковую систему 25 деформируют: продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 1-15 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2- 14 %, деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят: продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой 30 со степенью деформации за проход 1-12 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2- 11%, промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят: продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

21

проход 1-15 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2-11 %.

- При заполнении полой металлической ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката висмутовой керамики состава Bi-2212 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила менее 20 % происходит разрыв керамической сердцевины, при увеличении коэффициента заполнения моножила более 60 % не удаётся получить требуемую толщину керамики после деформации ампульно- порошковой системы. При деформации полученной ампульно- порошковой системы до 10 толщины 0,45- 5 мм продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход менее 1 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее 2 % происходит нарушение геометрических размеров провода, появляется, так называемая, волнообразность по длине. При деформации 15 ампульно- порошковой системы продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход более 15 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 14 % происходит разрыв оболочки. При формировании сложной заготовки из расчёта конечного коэффициента 20 заполнения многожильного плоского сверхпроводника менее 25 % не удаётся получить требуемого количества керамических жил, а увеличение коэффициента заполнения выше 55 % приводит к смыканию жил друг с другом, что нарушает геометрию провода. При деформации сложной заготовки до требуемой толщины продольно- поперечной прокаткой или продольной 25 прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход менее 1 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее 2 % происходит нарушение геометрических размеров провода, появляется, так называемая, волнообразность по длине. При деформации сложной заготовки продольно- поперечной прокаткой или продольной 30 прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход более 12 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 11 % происходит разрыв оболочки. Проведение термомеханической обработки при температуре ниже 840 °C и выше 900 °C в течение общего

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

22

времени менее 50 часов и более 150 часов не позволяет сформировать в керамической сердцевине сверхпроводящую фазу требуемого состава и структуры. При проведении промежуточных деформаций на стадии термомеханической обработки продольно- поперечной прокаткой или

5 продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход менее 1 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее 2 % происходит нарушение геометрических размеров провода, появляется, так называемая, волнообразность по длине. При проведении промежуточных деформаций продольно- поперечной прокаткой или продольной

10 прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход более 15 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 11 % происходит разрыв оболочки.

При изготовлении высокотемпературного сверхпроводника на основе керамики типа Bi-2223 полую металлическую ампулу заполняют порошком

15 сверхпроводящего соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики состава Bi-2223 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножилы 25- 75 %, деформируют ампульно- порошковую систему до толщины 0,35- 4 мм со степенью деформации за проход 2- 20 %, формирование сложной заготовки проводят из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного

20 плоского сверхпроводника 30- 70 %, деформируют сложную заготовку до требуемых размеров со степенью деформации за проход 2- 18 %, термомеханическую обработку проводят при температуре 800 - 850 °C в течение общего времени 150- 350 часов с промежуточными деформациями за проход 2- 20 %. При этом ампульно- порошковую систему деформируют:

25 продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 2-20 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2- 18 %, деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят: продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью

30 деформации за проход 2-18 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2- 16%, промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят: продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

23

проход 2-20 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 4-15 %.

- При заполнении полый металлической ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката висмутовой керамики
- 5 состава Bi-2223 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила менее 25 % происходит разрыв керамической сердцевины, при увеличении коэффициента заполнения моножила более 75 % не удастся получить требуемую толщину керамики после деформации ампульно-порошковой системы. При деформации полученной ампульно-порошковой системы до
- 10 толщины 0,35- 4 мм продольно-поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход менее 2 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее 2 % происходит нарушение геометрических размеров провода, появляется, так называемая, волнообразность по длине. При деформации
- 15 ампульно-порошковой системы продольно-поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход более 20 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 18 % происходит разрыв оболочки. При формировании сложной заготовки из расчёта конечного коэффициента
- 20 заполнения многожильного плоского сверхпроводника менее 30 % не удастся получить требуемого количества керамических жил, а увеличение коэффициента заполнения выше 70 % приводит к смыканию жил друг с другом, что нарушает геометрию провода. При деформации сложной заготовки до требуемой толщины продольно-поперечной прокаткой или продольной
- 25 прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход менее 2 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее 2 % происходят нарушение геометрических размеров провода, появляется так называемая волнообразность по длине. При деформации сложной заготовки продольно-поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной
- 30 прокаткой со степенью деформации за проход более 18 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 16 % происходит разрыв оболочки. Проведение термомеханической обработки при температуре ниже 800 °C и выше 850 °C в течение общего времени менее 150 часов и более

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

24

350 часов не позволяет сформировать в керамической сердцевине сверхпроводящую фазу требуемого состава и структуры. При проведении промежуточных деформаций на стадия термомеханической обработки продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход менее 2 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее 4 % происходит нарушение геометрических размеров провода, появляется, так называемая, волнообразность по длине. При проведении промежуточных деформаций продольно- поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход более 20 %, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 15 % происходит разрыв оболочки.

Плоские сверхпроводники, полученные в результате осуществления изобретения по первому варианту, представляют собой ленты, состоящие из оболочки, в которую послойно заключены элементы высокотемпературной сверхпроводящей керамики. Отношение общей площади поверхности элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики к максимальному габаритному размеру полученных проводников составляет 0,20 м – 2 м на каждый слой сверхпроводящей керамики. Ширина сверхпроводников составляет до 1 м. Критический ток на образцах (0,38 мм × 10 мм × ×80 мм), вырезанных из полученных сверхпроводников, измеренный стандартным четырёхточечным методом составляет 560-570 А.

Плоские сверхпроводники, полученные в результате осуществления изобретения по второму варианту, представляют собой ленты, состоящие из оболочки, в которую послойно заключены элементы высокотемпературной сверхпроводящей керамики и армирующие элементы, расположенные послойно между элементами высокотемпературной сверхпроводящей керамики. Отношение общей площади поверхности элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики к максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника 0,15 м- 3 м на каждый слой сверхпроводящей керамики и отношение общей площади поверхности армирующих элементов к максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника 0,15 м- 3 м на каждый слой армирующих элементов. Ширина сверхпроводников составляет до

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

25

1,5 м. Критический ток на образцах (0,38 мм × 10 мм × 80 мм), вырезанных из полученных сверхпроводников, измеренный стандартным четырёхточечным методом составляет 568-580 А.

- Для лучшего понимания изобретения ниже приведены конкретные
5 примеры его осуществления.

Примеры

- Пример 1. Металлическую ампулу из Ag (трубу длиной 1115 мм, диаметром 12,8 мм, с толщиной стенки 1,18 мм) заполняют порошком-прекурсором висмутовой керамики Bi-2223 из расчёта конечного коэффициента
10 заполнения моножила 40 %, деформируют полученную ампульно-порошковую систему до толщины моножила 1 мм волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2% и разрезают на мерные части. Заготовку оболочки овалообразного поперечного сечения из Ag получают осадкой под размер (до высоты 14 мм) металлической заготовки оболочки крупного
15 поперечного сечения (трубы диаметром 30 мм, длиной 237 мм, с толщиной стенки 2,2 мм). Далее формируют сложную заготовку путём размещения в полученной заготовке оболочки овалообразного поперечного сечения 42 мерных частей (длиной по 207 мм) разрезанных на части моножил (из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного провода 31 %). Сложную
20 заготовку деформируют до толщины 0,38 мм продольной прокаткой со степенью деформации за проход 2%. Полученный плоский проводник подвергают термомеханической обработке при температуре 800-850°C в течение общего времени 150-350 часов с промежуточными деформациями продольной прокаткой со степенью деформации за проход 10 %. Получен длинномерный
25 плоский сверхпроводник шириной 75 мм, состоящий из серебряной оболочки, в которой послойно помещены элементы высокотемпературной сверхпроводящей керамики на основе фазы Bi-2223- по 14 элементов в слое (общее количество элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики-42 штуки). Оболочка со всех сторон окружает элементы высокотемпературной
30 сверхпроводящей керамики. Оболочка выполнена из материала, не приводящего к деградации сверхпроводящих свойств элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики. Отношение общей площади поверхности элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики к максимальному

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

26

габаритному размеру плоского сверхпроводника составляет 0,20 м на каждый слой сверхпроводящей керамики. Критический ток на образцах (0,38 мм × 10 мм × 80 мм), вырезанных из этого проводника, измеренный стандартным четырёхточечным методом составил 560 А.

- 5 Пример 2. Металлическую ампулу из сплава Ag+1 % вес. Mg (трубу длиной 100 мм, диаметром 12,8 мм, с толщиной стенки 1,18 мм) заполняют порошком-прекурсором висмутовой керамики Bi-2223 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила 40 %, деформируют полученную ампульно-порошковую систему до толщины моножила 1 мм
- 10 продольно-поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 20% и разрезают на мерные части. Заготовку оболочки овалообразного поперечного сечения из сплава Ag+1 % вес. Mg получают осадкой под размер (до высоты 14 мм) металлической заготовки оболочки круглого поперечного сечения (трубы диаметром 30 мм, длиной 100 мм, с толщиной стенки 2,2 мм). Далее
- 15 формируют сложную заготовку путём размещения в полученной заготовке оболочки овалообразного поперечного сечения 42 мерных частей (длинной по 90 мм) разрезаемых на части моножил (из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного провода 34 %). Сложную заготовку деформируют до толщины 0,38 мм продольно-поперечной прокаткой со степенью деформации
- 20 за проход 18 %. Полученный плоский проводник подвергают термомеханической обработке при температуре 800-850°C в течение общего времени 150-350 часов с промежуточными деформациями поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 10 %. Получен короткий плоский сверхпроводник шириной 75 мм, состоящий из оболочки из сплава
- 25 Ag+1 % вес. Mg, в которой послойно помещены элементы высокотемпературной сверхпроводящей керамики на основе фазы Bi-2223 (моножилы - в оболочке из сплава Ag+1 % вес. Mg)- по 14 элементов в слое (общее количество элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики-42 штуки). Оболочка со всех сторон окружает элементы высокотемпературной сверхпроводящей керамики.
- 30 Оболочка выполнена из материала, не приводящего к деградации сверхпроводящих свойств элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики. Отношение общей площади поверхности элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики к максимальному

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

27

габаритному размеру плоского сверхпроводника составляет 0,20 м на каждый слой сверхпроводящей керамики. Критической ток на образцах (0,38 мм × 10 мм × 80 мм), вырезанных из этого проводника, измеренный стандартным четырёхточечным методом составил 570 А.

- 5 Пример 3. Металлическую ампулу из Ag (трубу длиной 1115 мм, диаметром 12,8 мм, с толщиной стенки 1,18 мм) заполняют порошком-прекурсором висмутовой керамики Bi-2212 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила 20 %, деформируют полученную ампульно-порошковую систему до толщины моножила 4 мм волочением в роликовой волоке со
- 10 степенью деформации за проход 14 % и разрезают на мерные части. Заготовку оболочки овалообразного поперечного сечения из Ag получают осадкой под размер (до высоты 14 мм) металлической заготовки оболочки круглого поперечного сечения (трубы диаметром 30 мм, длиной 237 мм, с толщиной стенки 2,2 мм). Далее формируют сложную заготовку путём размещения в
- 15 полученной заготовке оболочки овалообразного поперечного сечения 10 мерных частей (длиной по 207 мм) разрезанных на части моножил (из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного провода 30 %). Сложную заготовку деформируют до толщины 0,4 мм волочением в роликовой волоке со
- 20 степенью деформации за проход 7 %. Полученный плоский проводник подвергают термомеханической обработке при 840-900 °С в течение общего времени 50-150 часов с промежуточными деформациями волочением в
- 25 роликовой волоке со степенью деформации за проход 11 %. Получен плоский сверхпроводник шириной 75 мм, состоящий из серебряной оболочки, в которой послойно помещены элементы высокотемпературной сверхпроводящей
- 30 керамики на основе фазы Bi-2212- по одному элементу в слое (общее количество элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики-10 штук). Оболочка со всех сторон окружает элементы высокотемпературной сверхпроводящей керамики. Оболочка выполнена из материала, не приводящего к деградации сверхпроводящих свойств элементов высокотемпературной
- сверхпроводящей керамики. Отношение общей площади поверхности элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики к максимальному
- габаритному размеру плоского сверхпроводника составляет 0,15 м на каждый слой сверхпроводящей керамики. Критической ток на образцах

(0,4 мм × 10 мм × 80 мм), вырезанных из этого проводника, измеренный стандартным четырёхточечным методом составил 565 А.

- Пример 4. Металлическую ампулу из Ag (трубу длиной 1115 мм, диаметром 18 мм, с толщиной стенки 1,18 мм) заполняют порошком-прекурсором иттриевой керамики Y-123 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила 20 %, деформируют полученную ампульно-порошковую систему до толщины моножила 2,5 мм продольной прокатки со степенью деформации за проход 7 % и разрезают на мерные части. Заготовку оболочки овалообразного поперечного сечения из сплава Ag+ 1 % вес. Mg получают осадкой под размер (до высоты 14 мм) металлической заготовки оболочки круглого поперечного сечения (трубы диаметром 30 мм, длиной 100 мм, с толщиной стенки 2,2 мм). Далее формируют сложную заготовку путём размещения в полученной заготовке оболочки овалообразного поперечного сечения послойно 3 мерных частей (длиной по 90 мм) разрезанных на части плоских моножил - в каждом слое по одной моножиле (из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного провода 39 %). При этом, между первым и вторым, вторым и третьим слоями моножил располагают слои плоских армирующих элементов из сплава Ag + 1 % вес. Cu (длиной по 90 мм, толщиной по 0,5 мм) по одному армирующему элементу в слое. Сложную заготовку деформируют до толщины 0,4 мм волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 10 %. Полученный плоский проводник подвергают термомеханической обработке при 920-960 °С в течение общего времени 250- 300 часов с промежуточными деформациями продольной прокаткой со степенью деформации за проход 15 %. Получен плоский сверхпроводник шириной 75 мм, состоящий из оболочки из сплава Ag+1% вес. Mg, в которой послойно помещены элементы высокотемпературной сверхпроводящей керамики на основе фазы Y-123 (моножила в серебряной оболочке) - по 1 элементу в слое (общее количество элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики-3 штуки), при этом между первым и вторым, вторым и третьим слоями плоских моножил расположены слои плоских армирующих элементов из сплава Ag + 1 % вес. Cu по одному плоскому армирующему элементу в слое. Оболочка со всех сторон окружает элементы высокотемпературной сверхпроводящей керамики и армирующие

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

29

элементы. Оболочка и армирующие элементы выполнены из материала, не приводящего к деградации сверхпроводящих свойств элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики при используемой конструкции сверхпроводника. Отношение общей площади поверхности элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики к максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника $-0,15$ м на каждый слой сверхпроводящей керамики, отношение общей площади поверхности армирующих элементов к максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника составляет $0,15$ м на каждый слой армирующих элементов.

Индуктивные измерения критического тока на образцах ($0,4$ мм \times 20 мм \times 80 мм), вырезанных из этого проводника, показали, что критический ток составляет 568 А.

Пример 5. Металлическую ампулу из Ag (трубу длиной 1115 мм, диаметром $12,8$ мм, с толщиной стенки $1,18$ мм) заполняют порошком-прекурсором висмутовой керамики Bi-2212 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила 60% , деформируют полученную ампульно-порошковую систему до толщины моножила 1 мм волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2% и разрезают на мерные части. Заготовку оболочки овалообразного поперечного сечения из сплава Ag+ 1% вес. Mg получают осадкой под размер (до высоты 14 мм) металлической заготовки оболочки круглого поперечного сечения (трубы диаметром 30 мм, длиной 100 мм, с толщиной стенки $2,2$ мм). Далее формируют сложную заготовку путём размещения в полученной заготовке оболочки овалообразного поперечного сечения послойно 36 мерных частей (длиной по 90 мм) разрезанных на части моножил - 6 слоёв, по 6 мерных частей в слое (из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного провода 30%). При этом, между первым и вторым, вторым и третьим, третьим и четвёртым, четвёртым и пятым, пятым и шестым слоями моножил располагают слои армирующих элементов (5 слоёв по 6 армирующих элементов в виде прутков в каждом слое) из сплава Ag + 1% вес. Ni (длиной по 90 мм, толщиной по $0,5$ мм). Сложную заготовку деформируют до толщины $0,4$ мм продольной прокаткой со степенью деформации за проход 2% . Полученный плоский проводник подвергают термомеханической обработке при $840-900$ °C в течение общего времени

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

30

50- 150 часов с промежуточными деформациями волочением в роликовой
волоке со степенью деформации за проход 11%. Получен плоский
сверхпроводящий пиритной 75 мм, состоящий из серебряной оболочки, в которой
последовательно помещены элементы высокотемпературной сверхпроводящей
5 керамики на основе фазы Bi-2212(моножила в оболочке из сплава
Ag+1 % вес. Mg)- по 6 элементов в слое (общее количество элементов
высокотемпературной сверхпроводящей керамики- 36 штук), при этом, между
первым и вторым, вторым и третьим, третьим и четвертым, четвертым и пятым,
пятым и шестым слоями моножил расположены слои армирующих
10 элементов-5 слоёв по 6 армирующих элементов в виде прутков из сплава
Ag+1 % вес. Ni. Оболочка со всех сторон окружает элементы
высокотемпературной сверхпроводящей керамики и армирующие элементы.
Оболочка и армирующие элементы выполнены из материала, не приводящего к
деградации сверхпроводящих свойств элементов высокотемпературной
15 сверхпроводящей керамики при используемой конструкции сверхпроводника.
Отношение общей площади поверхности элементов высокотемпературной
сверхпроводящей керамики к максимальному габаритному размеру плоского
сверхпроводника составляет 0,20 м на каждый слой сверхпроводящей
керамики, отношение общей площади поверхности армирующих элементов к
20 максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника составляет
0,10м на каждый слой армирующих элементов. Критический ток на образцах
(0,4 мм × 10 мм × 80 мм), вырезанных из этого проводника, измеренный
стандартным четырёхточечным методом составил 570 А.

Пример 6. Металлическую ампулу из Ag (трубу длиной 1115 мм,
25 диаметром 12,8 мм, с толщиной стенки 1,18 мм) заполняют порошком-
прекурсором иттриевой керамики Y-123 из расчёта конечного коэффициента
заполнения моножила 60 %, деформируют полученную ампульно- порошковую
систему до толщины моножила 1 мм продольной прокаткой со степенью
деформации за проход 1% и разрезают на мерные части. Заготовку оболочки
30 овалообразного поперечного сечения из Ag получают осадкой под размер (до
высоты 14 мм) металлической заготовки оболочки круглого поперечного
сечения (трубы диаметром 30 мм, длиной 237 мм, с толщиной стенки 2,2 мм).
Далее формируют сложную заготовку путём размещения в полученной заготовке

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

31

- оболочки овалообразного поперечного сечения послойно 36 мерных частей (длиной по 207 мм) разрезанных на части моножил - 6 слоёв, по 6 мерных частей в слое (из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного провода 33 %). При этом, между первым и вторым, вторым и третьим, третьим и четвёртым, четвёртым и пятым, пятым и шестым слоями моножил располагают слои плоских армирующих элементов из сплава Ag + 1 % вес. Ni (длиной по 207 мм, толщиной по 0,5 мм) по одному армирующему элементу в слое. Сложную заготовку деформируют до толщины 0,4 мм волочением в роlikовой волоке со степенью деформации за проход 7%. Полученный
- 10 плоский проводник подвергают термомеханической обработке при 920-960 °C в течение общего времени 250- 300 часов с промежуточными деформациями продольной прокаткой со степенью деформации за проход 1%. Получен плоский сверхпроводник шириной 75 мм, состоящий из серебряной оболочки, в которой послойно помещены элементы высокотемпературной сверхпроводящей
- 15 керамики на основе фазы Y-123 - по 6 элементов в слое (общее количество элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики- 36 штук), при этом, между первым и вторым, вторым и третьим, третьим и четвёртым, четвёртым и пятым, пятым и шестым слоями моножил расположены слои армирующих элементов-5 слоёв по одному армирующему элементу в виде
- 20 плоских пластин из сплава Ag + 1 % вес. Ni. Оболочка со всех сторон окружает элементы высокотемпературной сверхпроводящей керамики и армирующие элементы. Оболочка и армирующие элементы выполнены из материала, не приводящего к деградации сверхпроводящих свойств элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики при используемой
- 25 конструкции сверхпроводника. Отношение общей площади поверхности элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики к максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника составляет 0,20 м на каждый слой сверхпроводящей керамики, отношение общей площади поверхности армирующих элементов к максимальному габаритному размеру плоского
- 30 сверхпроводника составляет 0,15 м на каждый слой армирующих элементов. Индуктивные измерения критического тока на образцах (0,4 мм × 20 мм × 80 мм), вырезанных из этого проводника, показали, что образцы несут ток 585 А.

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

32

- Пример 7. Металлическую ампулу из Ag (короб длиной 2000 мм, шириной 700 мм, высотой 10 мм, с толщиной стенки 1,2 мм) заполняют порошком- прекурсором висмутовой керамики Bi- 2223 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила 40 %, деформируют
- 5 полученную ампульно- порошковую систему до толщины моножила 1 мм волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 7% и разрезают на мерные части. Далее формируют сложную заготовку путём размещения в заготовке оболочки из Ag (короб длиной 1200 мм, шириной 800 мм, высотой 25 мм, с толщиной стенки 2,5 мм) послойно (по одной
- 10 мерной части в слое) 19 мерных частей (длиной по 1180 мм) разрезанных на части плоских моножил (из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного провода 37 %). Сложную заготовку деформируют до толщины 0,38 мм продольно- поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 10 %. Полученный плоский проводник подвергают термомеханической
- 15 обработке при 800-850 °С в течение общего времени 250- 300 часов с промежуточными деформациями волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 15%. Получен плоский сверхпроводник шириной 1000мм, состоящий из серебряной оболочки, в которой послойно помещены элементы высокотемпературной сверхпроводящей керамики на основе фазы Bi-2223 по
- 20 одному элементу в слое (общее количество элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики- 19 штук) Оболочка со всех сторон окружает элементы высокотемпературной сверхпроводящей керамики и армирующие элементы. Оболочка выполнена из материала, не приводящего к деградации сверхпроводящих свойств элементов высокотемпературной сверхпроводящей
- 25 керамики. Отношение общей площади поверхности элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики к максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника составляет 2 м на каждый слой сверхпроводящей керамики. Критической ток на образцах (0,4 мм × 10 мм × 80 мм), вырезанных из этого проводника, измеренный
- 30 стандартным четырёхточечным методом составил 560 А.

Пример 8. Металлическую ампулу из Ag (короб длиной 2000 мм, шириной 1050 мм, высотой 10 мм, с толщиной стенки 1,2 мм) заполняют порошком- прекурсором висмутовой керамики Bi- 2223 из расчёта конечного

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

33

- коэффициента заполнения моножила 40 %, деформируют полученную ампульно- порошковую систему до толщины моножила 1 мм волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 7% и разрезают на мерные части. Далее формируют сложную заготовку путём размещения в заготовке
- 5 оболочки из Ag (короб длиной 1200 мм, шириной 1200 мм, высотой 25 мм, с толщиной стенки 2,5 мм) послойно (по одной мерной части в слое) 10 мерных частей (длиной по 1180 мм) разрезанных на части плоских моножил (из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного провода 29 %). При этом, между всеми слоями плоских моножил располагают плоские слои
- 10 армирующих элементов из сплава Ag + 1 % вес. Cu (длиной по 1180 мм, толщиной по 1 мм) по одному армирующему элементу в слое – всего 9 слоёв армирующих элементов . Сложную заготовку деформируют до толщины 0,38 мм волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 10 %. Полученный плоский проводник подвергают термомеханической
- 15 обработке при 800- 850 °C в течение общего времени 250- 300 часов с промежуточными деформациями продольной прокаткой со степенью деформации за проход 1%. Получен плоский сверхпроводник шириной 1500 мм, состоящий из серебряной оболочки, в которой послойно помещены элементы высокотемпературной сверхпроводящей керамики на основе фазы Bi-2223 - по
- 20 одному элементу в слое (общее количество элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики- 10 штук), при этом, между всеми слоями плоских моножил расположены плоские слои армирующих элементов из сплава Ag + 1 % вес. Cu , по одному армирующему элементу в слое – всего 9 слоёв армирующих элементов. Оболочка со всех сторон окружает элементы
- 25 высокотемпературной сверхпроводящей керамики и армирующие элементы. Оболочка и армирующие элементы выполнены из материала, не приводящего к деградации сверхпроводящих свойств элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики при используемой конструкции сверхпроводника. Отношение общей площади поверхности элементов высокотемпературной
- 30 сверхпроводящей керамики к максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника составляет 3 м на каждый слой сверхпроводящей керамики, отношение общей площади поверхности армирующих элементов к максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника составляет 3 м

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

34

на каждый слой армирующих элементов. Критический ток на образцах (0,4 мм × 10 мм × 80 мм), вырезанных из этого проводника, измеренный стандартным четырехточечным методом составил 580 А.

Промышленная применимость

- 5 В результате осуществления изобретения получены широкие (от 7,5 мм до 1 м и до 1,5 м – при использовании армирующих элементов) ленты требуемой длины (от десятков сантиметров до десятков метров). На всех полученных лентах величина критического тока составила не менее 560 А.

- Из сверхпроводников изготавливали магнитные экраны в виде
10 прямоугольных, круглых и многоугольных листов периметром 4 м, 2,5 м, 3 м, соответственно. Кроме того, из сверхпроводников вырезали пластины без внутреннего отверстия периметром: 2м, 2,5м, 3м, 4м в виде прямоугольников, кругов, многоугольников и овалов, соответственно, а также периметром: 1,8м, 2,3м, 2,8м, 3,8м, соответственно, 1,6м, 2,1м, 2,6м, 3,6м, соответственно, 1,4м,
15 1,9м, 2,4м, 3,4м, соответственно, 1,2м, 1,7м, 2,2м, 3,2м, соответственно. Также из сверхпроводников вырезали пластины с внутренним отверстием; периметр пластин в виде прямоугольников, кругов, многоугольников и овалов: 2м, 2,5м, 3м, 4м, соответственно, а также : 1,8м, 2,3м, 2,8м, 3,8м, соответственно, 1,6м, 2,1м, 2,6м, 3,6м, соответственно, 1,4м, 1,9м, 2,4м, 3,4м, соответственно, 1,2м,
20 1,7м, 2,2м, 3,2м, соответственно; периметр внутренних отверстий в виде прямоугольников, кругов, многоугольников и овалов: 0,5м, 1м, 1,5м, 2м, соответственно, а также: 0,4м, 0,9м, 1,4м, 1,9м, соответственно, 0,3м, 0,8м, 1,3м, 1,8м, соответственно, 0,2м, 0,7м, 1,2м, 1,7м, соответственно, 0,1м, 0,6м, 1,1м, 1,6м, соответственно. Из пластин одинаковой формы с одинаковыми и разными
25 геометрическими размерами с отверстием и без отверстия собирали пакеты пластин путём наложения одной пластины на другую в стопку, при использовании пластин разных геометрических размеров собирали стопки путём постепенного увеличения размера пластин и путем постепенного уменьшения размера пластин. Пластины, собранные в пакеты, отжигали и
30 использовали в качестве составных деталей электрических машин, одевая пакеты пластин с внутренним отверстием на стальные стержни профиля, соответствующего отверстию пакета пластин. Также при сборке пакетов между пластинами прокладывали стальные листы одинаковой и разной с пластинами

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

35

формы и размеров и собирали детали электрических машин, одевая пакеты пластин с внутренним отверстием на стальные стержни профиля, соответствующего отверстию пакета пластин. Также между пластинами прокладывали прокладки: из полимерных плёнок - полиэтилена, из

5 изоляционного материала - фторопласта, из высокопрочной стали и использовали такие пакеты пластин в магнитных экранах .

10

15

20

25

30

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

36

Формула изобретения

1. Способ получения плоского сверхпроводника, включающий формирование полый металлической ампулы, заполнение ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката, деформацию полученной ампульно- порошковой системы до требуемого размера, резку деформированной ампульно- порошковой системы на мерные части, формирование сложной заготовки путём размещения в оболочке требуемого количества мерных составных частей, деформацию сложной заготовки до требуемых размеров, термомеханическую обработку, при этом полуу металлическую ампулу
- 10 заполняют порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката из расчёта конечного коэффициента заполнения моножилы 20-75 %, деформируют ампульно- порошковую систему до толщины 0,35-5 мм со степенью деформации за проход 1-20 %, оболочку сложной заготовки изготавливают в виде полого профиля овалообразного или прямоугольного поперечного сечения,
- 15 в который помещают необходимое количество мерных частей деформированной ампульно- порошковой системы или необходимое количество мерных частей деформированной ампульно- порошковой системы и армирующих элементов из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 25- 70 %, сложную заготовку деформируют до требуемого размера со степенью деформации за проход 1- 18 %, а термомеханическую обработку проводят в несколько стадий термообработок с промежуточными деформациями между ними, при температуре и в течение времени, обеспечивающих формирование в керамике сверхпроводящей фазы требуемого состава и структуры.
- 25 2. Способ получения плоского сверхпроводника по п.1 в котором ампульно- порошковую систему деформируют продольно-поперечной или поперечной, или продольной прокаткой со степенью деформации 1-20% за проход.
- 30 3. Способ получения плоского сверхпроводника по п.1, в котором ампульно-порошковую систему деформируют волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 1-18%.
4. Способ получения плоского сверхпроводника по п.1, в котором металлическую оболочку сложной заготовки овалообразного поперечного

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

37

сечения получают из заготовки круглого поперечного сечения осадкой под размер.

5. Способ получения плоского сверхпроводника по п.1, в котором деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят продольно-поперечной или поперечной, или продольной прокаткой со степенью деформации за проход 1-18%.

6. Способ получения плоского сверхпроводника по п.1, в котором деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 1-16%.

10 7. Способ получения плоского сверхпроводника по п.1, в котором промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят продольно-поперечной или продольной, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 1-20%.

15 8. Способ получения плоского сверхпроводника по п.1, в котором промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2-15%.

9. Способ получения плоского сверхпроводника по п.п.1- 8, в котором полую металлическую ампулу заполняют порошком иттриевой керамики состава Y-123, термомеханическую обработку проводят при температуре 920-960 °С в течение 250- 300 часов.

20 10. Способ получения плоского сверхпроводника по п.п.1- 8, в котором что полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики состава Bi-2212 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножилы 20-60 %, ампульно-порошковую систему деформируют до толщины 0,45-5 мм со степенью деформации за проход 1-15 %, формирование сложной заготовки проводят из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 25-55 %, деформируют сложную заготовку до требуемого размера со степенью деформации за проход 1-12 %, термомеханическую
25 обработку проводят при температуре 840-900 °С в течение 50- 150 часов с промежуточными деформациями за проход 1-15 %.

11. Способ получения плоского сверхпроводника по п.п.1- 8, в котором полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

38

- соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики Bi-2223 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила 25-75 % , ампульно-порошковую систему деформируют до толщины 0,35-4 мм со степенью деформации за проход 2-20 % , формирование сложной заготовки проводят из
- 5 расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 30-70 % , деформируют сложную заготовку до требуемого размера со степенью деформации за проход 2-18 % , термомеханическую обработку проводят при температуре 800-850°C в течение общего времени 150-350 часов с промежуточными деформациями со степенью деформации за проход
- 10 2-20 % .

- 12.Плоский сверхпроводник, состоящий из элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики, помещённых послойно в оболочку, имеющий отношение общей площади поверхности элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики к максимальному
- 15 габаритному размеру плоского сверхпроводника 0,03 м- 2м на каждый слой сверхпроводящей керамики, полученный способом, включающим формирование полый металлической ампулы, заполнение ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила 20-75 % , деформацию полученной
- 20 ампульно- порошковой системы до толщины 0,35-5 мм со степенью деформации за проход 1-20 % , резку деформированной ампульно- порошковой системы на мерные части, формирование сложной заготовки путём размещения в оболочке сложной заготовки, изготовленной в виде полого профиля овалобразного или прямоугольного поперечного сечения необходимого
- 25 количества мерных частей деформированной ампульно- порошковой системы из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 25- 70 % , деформацию сложной заготовки до требуемых размеров со степенью деформации за проход 1-18 % , термомеханическую обработку проводят в несколько стадий термообработок с промежуточными
- 30 деформациями между ними, при температуре и в течение времени, обеспечивающих формирование в керамике сверхпроводящей фазы требуемого состава и структуры.

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

39

13. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором ампульно- порошковую систему деформируют продольно-поперечной или поперечной, или продольной прокаткой со степенью деформации 1-20% за проход.

5 14. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором ампульно-порошковую систему деформируют волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 1-18%.

15 15. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором металлическую оболочку сложной заготовки овалообразного поперечного сечения получают из заготовки круглого поперечного сечения осадкой под размер.

16. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят продольно-поперечной или поперечной, или продольной прокаткой со степенью деформации за проход 1-18%.

17. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 1-16%.

18. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят продольно-поперечной или продольной, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 1-20%.

19. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2-15%.

20. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором полую металлическую ампулу заполняют порошком иттриевой керамики состава Y-123, термомеханическую обработку проводят при температуре 920-960 °C в течение 250- 300 часов.

21. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики состава Bi-2212 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножилы 20-60 %, ампульно-

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

40

порошковую систему деформируют до толщины 0,45-5 мм со степенью деформации за проход 1-15 %, формирование сложной заготовки проводят из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 25-55 %, деформируют сложную заготовку до требуемого
5 размера со степенью деформации за проход 1-12 %, термомеханическую обработку проводят при температуре 840-900 °C в течение 50- 150 часов с промежуточными деформациями за проход 1-15 %.

22. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего
10 соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики Bi-2223 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила 25-75 % , ампульно-порошковую систему деформируют до толщины 0,35-4 мм со степенью деформации за проход 2-20 % , формирование сложной заготовки проводят из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского
15 сверхпроводника 30-70 %, деформируют сложную заготовку до требуемого размера со степенью деформации за проход 2-18 %, термомеханическую обработку проводят при температуре 800-850°C в течение общего времени 150-350 часов с промежуточными деформациями со степенью деформации за проход 2-20 %.

20 23. Плоский сверхпроводник, состоящий из элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики, заключённых послойно в оболочку, и армирующих элементов, расположенных послойно между элементами высокотемпературной сверхпроводящей керамики, имеющий отношение общей площади поверхности элементов высокотемпературной
25 сверхпроводящей керамики к максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника 0,03 м- 3 м на каждый слой сверхпроводящей керамики и отношение общей площади поверхности армирующих элементов к максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника 0,03 м- 3 м на каждый слой армирующих элементов, полученный способом, включающим
30 формирование полый металлической ампулы, заполнение ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила 20-75 %, деформацию полученной ампульно- порошковой системы до толщины 0,35-5 мм со степенью

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

41

деформации за проход 1-20 %, резку деформированной ампульно- порошковой системы на мерные части, формирование сложной заготовки путём размещения в оболочке сложной заготовки, изготовленной в виде полого профиля овалобразного или прямоугольного поперечного сечения необходимого количества мерных частей деформированной ампульно- порошковой системы и армирующих элементов из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 25- 70 %, деформацию сложной заготовки до требуемых размеров со степенью деформации за проход 1-18 %, термомеханическую обработку проводят в несколько стадий термообработок с промежуточными деформациями между ними, при температуре и в течение времени, обеспечивающих формирование в керамике сверхпроводящей фазы требуемого состава и структуры.

24.Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором ампульно- порошковую систему деформируют продольно-поперечной или поперечной, или продольной прокаткой со степенью деформации 1-20% за проход.

25. Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором ампульно-порошковую систему деформируют волочением в роликковой волоке со степенью деформации за проход 1-18%.

26. Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором металлическую оболочку сложной заготовки овалобразного поперечного сечения получают из заготовки круглого поперечного сечения осадкой под размер.

27. Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят продольно-поперечной или поперечной, или продольной прокаткой со степенью деформации за проход 1-18%.

28. Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят волочением в роликковой волоке со степенью деформации за проход 1-16%.

29.Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

42

продольно-поперечной или продольной, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 1-20%.

30. Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят
5 вольчением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2-15%.

31. Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором полую металлическую ампулу заполняют порошком иттриевой керамики состава Y-123, термомеханическую обработку проводят при температуре 920-960 °C в течение 250- 300 часов.

10 32. Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики состава Bi-2212 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножилы 20-60 %, ампульно-порошковую систему деформируют до толщины 0,45-5 мм со степенью
15 деформации за проход 1-15 %, формирование сложной заготовки проводят из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 25-55 %, деформируют сложную заготовку до требуемого размера со степенью деформации за проход 1-12 %, термомеханическую
20 обработку проводят при температуре 840-900 °C в течение 50- 150 часов с промежуточными деформациями за проход 1-15 %.

33. Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики Bi-2223 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножилы 25-75 % , ампульно-
25 порошковую систему деформируют до толщины 0,35-4 мм со степенью деформации за проход 2-20 % , формирование сложной заготовки проводят из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 30-70 %, деформируют сложную заготовку до требуемого размера со степенью деформации за проход 2-18 %, термомеханическую
30 обработку проводят при температуре 800-850°C в течение общего времени 150-350 часов с промежуточными деформациями со степенью деформации за проход 2-20 %.

WO 02/13206

PCT/RU00/00521

43

34. Плоский сверхпроводник по п.12, в котором оболочка выполнена из материала, не приводящего к деградации сверхпроводящих свойств элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики.

5 35. Плоский сверхпроводник по п.23, в котором оболочка и армирующие элементы выполнены из материала, не приводящего к деградации сверхпроводящих свойств элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики.

36. Плоский сверхпроводник по п.12, в котором оболочка выполнена из серебра или сплава на основе серебра.

10 37. Плоский сверхпроводник по п.23, в котором оболочка выполнена из серебра или сплава на основе серебра и армирующие элементы выполнены из упрочнённого сплава на основе серебра.

15

20

25

30

WO 02/13206

44

PCT/RU00/00521

ИЗМЕНЁННАЯ ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

[получена Международным бюро 19 сентября 2001 (19.09.01); первоначально заявленные пункты 1-8, 10-14, 16-19, 21-25, 27-30, 32 и 33 формулы изобретения изменены; остальные пункты формулы изобретения оставлены без изменений] (8 страниц)

1. Способ получения плоского сверхпроводника, включающий формирование подой металлической ампулы, заполнение ампулы порошком
5 сверхпроводящего соединения или полуфабриката, деформацию полученной ампульно- порошковой системы до требуемого размера, резку деформированной ампульно- порошковой системы на мерные части, формирование сложной заготовки путём размещения в оболочке требуемого количества мерных составных частей, деформацию сложной заготовки до требуемых размеров,
10 термомеханическую обработку, при этом полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката из расчёта конечного коэффициента заполнения моножилы 60-75 %, деформируют ампульно- порошковую систему до толщины 0,35-5 мм со степенью деформации за проход 15-20 %, оболочку сложной заготовки изготавливают в виде полого
15 профиля овалобразного или прямоугольного поперечного сечения, в который помещают необходимое количество мерных частей деформированной ампульно- порошковой системы или необходимое количество мерных частей деформированной ампульно- порошковой системы и армирующих элементов из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского
20 сверхпроводника 55- 70 %, сложную заготовку деформируют до требуемого размера со степенью деформации за проход 12- 18 %, а термомеханическую обработку проводят в несколько стадий термообработок с промежуточными деформациями между ними, при температуре и в течение времени, обеспечивающих формирование в керамике сверхпроводящей фазы требуемого
25 состава и структуры.

2. Способ получения плоского сверхпроводника по п.1 в котором ампульно- порошковую систему деформируют продольно-поперечной или поперечной, или продольной прокаткой со степенью деформации 15-20% за проход.

- 30 3. Способ получения плоского сверхпроводника по п.1, в котором ампульно-порошковую систему деформируют волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 15-18%.

WO 02/13206

45

PCT/RU00/00521

4. Способ получения плоского сверхпроводника по п.1, в котором металлическую оболочку сложной заготовки овалообразного поперечного сечения получают из заготовки круглого поперечного сечения осадкой под размер.
5. Способ получения плоского сверхпроводника по п.1, в котором деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят продольно-поперечной или поперечной, или продольной прокаткой со степенью деформации за проход 12-18%.
6. Способ получения плоского сверхпроводника по п.1, в котором деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 12-16%.
7. Способ получения плоского сверхпроводника по п.1, в котором промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят продольно-поперечной или продольной, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 15-20%.
8. Способ получения плоского сверхпроводника по п.1, в котором промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 12-15%.
9. Способ получения плоского сверхпроводника по п.п.1- 8, в котором полную металлическую ампулу заполняют порошком иттриевой керамики состава Y-123, термомеханическую обработку проводят при температуре 920-960 °С в течение 250- 300 часов.
10. Способ получения плоского сверхпроводника по п.п.1- 8, в котором что полную металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики состава Bi-2212 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножилы 60-65 %, ампульно-порошковую систему деформируют до толщины 0,45-5 мм со степенью деформации за проход 15-18 %, формирование сложной заготовки проводят из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 55-60 %, деформируют сложную заготовку до требуемого размера со степенью деформации за проход 12-15 %, термомеханическую обработку проводят при температуре 840-900 °С в течение 50- 150 часов с промежуточными деформациями за проход 15-18 %.

WO 02/13206

46

PCT/RU00/00521

11. Способ получения плоского сверхпроводника по п.п.1- 8, в котором полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики Bi-2223 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила 65-75 %, ампульно-порошковую систему деформируют до толщины 0,35-4 мм со степенью деформации за проход 17-20 %, формирование сложной заготовки проводят из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 60-70 %, деформируют сложную заготовку до требуемого размера со степенью деформации за проход 14-18 %, термомеханическую обработку проводят при температуре 800-850°C в течение общего времени 150-350 часов с промежуточными деформациями со степенью деформации за проход 16-20 %.

12. Плоский сверхпроводник, состоящий из элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики, помещённых послойно в оболочку, имеющий отношение общей площади поверхности элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики к максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника 0,03 м- 2м на каждый слой сверхпроводящей керамики, полученный способом, включающим формирование поллой металлической ампулы, заполнение ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила 60-75 %, деформацию полученной ампульно- порошковой системы до толщины 0,35-5 мм со степенью деформации за проход 15-20 %, резку деформированной ампульно- порошковой системы на мерные части, формирование сложной заготовки путём размещения в оболочке сложной заготовки, изготовленной в виде полого профиля овалобразного или прямоугольного поперечного сечения необходимого количества мерных частей деформированной ампульно- порошковой системы из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 55- 70 %, деформацию сложной заготовки до требуемых размеров со степенью деформации за проход 12-18 %, термомеханическую обработку проводят в несколько стадий термообработок с промежуточными деформациями между ними, при температуре и в течение времени,

WO 02/13206

47

PCT/RU00/00521

обеспечивающих формирование в керамике сверхпроводящей фазы требуемого состава и структуры.

13. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором ампульно- порошковую систему деформируют продольно-поперечной или поперечной, или продольной прокаткой со степенью деформации 15-20% за проход.

14. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором ампульно-порошковую систему деформируют волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 15-18%.

15. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором металлическую оболочку сложной заготовки овалообразного поперечного сечения получают из заготовки круглого поперечного сечения осадкой под размер.

16. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят продольно-поперечной или поперечной, или продольной прокаткой со степенью деформации за проход 12-18%.

17. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 12-16%.

18. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят продольно-поперечной или продольной, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 15-20%.

19. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 12-15%.

20. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором полую металлическую ампулу заполняют порошком иттриевой керамики состава Y-123, термомеханическую обработку проводят при температуре 920-960 °C в течение 250- 300 часов.

21. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего

ИЗМЕНЁННЫЙ ЛИСТ (ПРАВИЛО 19)

соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики состава Bi-2212 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножилы 60-65 %, ампульно-порошковую систему деформируют до толщины 0,45-5 мм со степенью деформации за проход 15-18 %, формирование сложной заготовки проводят из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 55-60 %, деформируют сложную заготовку до требуемого размера со степенью деформации за проход 12-15 %, термомеханическую обработку проводят при температуре 840-900 °С в течение 50- 150 часов с промежуточными деформациями за проход 15-18 %.

22. Плоский сверхпроводник по п.12, полученный способом, в котором полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики Bi-2223 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножилы 65-75 %, ампульно-порошковую систему деформируют до толщины 0,35-4 мм со степенью деформации за проход 17-20 %, формирование сложной заготовки проводят из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 60-70 %, деформируют сложную заготовку до требуемого размера со степенью деформации за проход 14-18 %, термомеханическую обработку проводят при температуре 800-850°С в течение общего времени 150-350 часов с промежуточными деформациями со степенью деформации за проход 16-20 %.

23. Плоский сверхпроводник, состоящий из элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики, заключённых послойно в оболочку, и армирующих элементов, расположенных послойно между элементами высокотемпературной сверхпроводящей керамики, имеющий отношение общей площади поверхности элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики к максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника 0,03 м- 3 м на каждый слой сверхпроводящей керамики и отношение общей площади поверхности армирующих элементов к максимальному габаритному размеру плоского сверхпроводника 0,03 м- 3 м на каждый слой армирующих элементов, полученный способом, включающим формирование поллой металлической ампулы, заполнение ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката из расчёта конечного

WO 02/13206

49

PCT/RU00/00521

коэффициента заполнения моножила 60-75 %, деформацию полученной ампульно- порошковой системы до толщины 0,35-5 мм со степенью деформации за проход 15-20 %, резку деформированной ампульно- порошковой системы на мерные части, формирование сложной заготовки путём размещения в оболочке сложной заготовки, изготовленной в виде полого профиля овалообразного или прямоугольного поперечного сечения необходимого количества мерных частей деформированной ампульно- порошковой системы и армирующих элементов из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 55- 70 %, деформацию сложной заготовки до требуемых размеров со степенью деформации за проход 12-18 %, термомеханическую обработку проводят в несколько стадий термообработок с промежуточными деформациями между ними, при температуре и в течение времени, обеспечивающих формирование в керамике сверхпроводящей фазы требуемого состава и структуры.

24.Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором ампульно- порошковую систему деформируют продольно-поперечной или поперечной, или продольной прокаткой со степенью деформации 15-20% за проход.

25. Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором ампульно-порошковую систему деформируют волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 15-18%.

26. Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором металлическую оболочку сложной заготовки овалообразного поперечного сечения получают из заготовки круглого поперечного сечения осадкой под размер.

27. Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят продольно-поперечной или поперечной, или продольной прокаткой со степенью деформации за проход 12-18%.

28. Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 12-16%.

29. Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят продольно-поперечной или продольной, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 15-20%.

5 30. Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 12-15%.

31. Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором полую металлическую ампулу заполняют порошком иттриевой керамики состава
10 Y-123, термомеханическую обработку проводят при температуре 920-960 °C в течение 250- 300 часов.

32. Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики состава Bi-2212 из
15 расчёта конечного коэффициента заполнения моножила 60-65 %, ампульно-порошковую систему деформируют до толщины 0,45-5 мм со степенью деформации за проход 15-18 %, формирование сложной заготовки проводят из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 55-60 %, деформируют сложную заготовку до требуемого
20 размера со степенью деформации за проход 12-15 %, термомеханическую обработку проводят при температуре 840-900 °C в течение 50- 150 часов с промежуточными деформациями за проход 15-18 %.

33. Плоский сверхпроводник по п.23, полученный способом, в котором полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего
25 соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики Bi-2223 из расчёта конечного коэффициента заполнения моножила 65-75 %, ампульно-порошковую систему деформируют до толщины 0,35-4 мм со степенью деформации за проход 17-20 %, формирование сложной заготовки проводят из расчёта конечного коэффициента заполнения многожильного плоского
30 сверхпроводника 60-70 %, деформируют сложную заготовку до требуемого размера со степенью деформации за проход 14-18 %, термомеханическую обработку проводят при температуре 800-850°C в течение общего времени 150-

WO 02/13206

51

PCT/RU00/00521

350 часов с промежуточными деформациями со степенью деформации за проход 16-20 %.

34. Плоский сверхпроводник по п.12, в котором оболочка выполнена из материала, не приводящего к деградации сверхпроводящих свойств элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики.

35. Плоский сверхпроводник по п.23, в котором оболочка и армирующие элементы выполнены из материала, не приводящего к деградации сверхпроводящих свойств элементов высокотемпературной сверхпроводящей керамики.

36. Плоский сверхпроводник по п.12, в котором оболочка выполнена из серебра или сплава на основе серебра.

37. Плоский сверхпроводник по п.23, в котором оболочка выполнена из серебра или сплава на основе серебра и армирующие элементы выполнены из упрочнённого сплава на основе серебра.

WO 02/13206

52

PCT/RU00/00521

ОБЪЯСНЕНИЕ В СООТВЕТСТВИИ СО СТАТЬЕЙ 19 (1)

В первоначально поданной формуле изобретения к заявке PCT/RU00/00521 интервалы технологических режимов (Коэффициенты заполнения моножила и многожильного плоского сверхпроводника, а также степени деформации ампульно-порошковой системы, сложной заготовки и промежуточной деформации) были предложены заявителем для всех описанных в заявке типов керамики с учётом ссылок Международного поискового органа на патенты RU 2153724C1 и RU 25158977C1, в которых ранее этим же заявителем частично описаны интервалы вышеупомянутых технологических режимов для керамики висмутовой системы, заявителем было принято решение изменить формулу, исключив из неё все ранее описанные интервалы предлагаемых технологических режимов. Изменение заключается в том, что указанные интервалы сужены как для керамик висмутовой системы, так и других типов керамик, описанных в заявке PCT/RU00/00521.

Изменения, внесённые в формулу, влекут за собой соответствующие изменения интервалов технологических режимов в описании изобретения, однако не выходят за рамки того, что раскрыто в первоначальной поданной международной заявке.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/RU 00/00521

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC7 H01B 12/00, H01B 13/00, H01L 39/24

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC7 H01B 12/00, H01B 13/00, H01L 39/24, C04B 35/00, H01J 1/62-1/76, H01L 39/00, 39/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	RU 2153724 C1 (GOSUDARSTVENNY NAUCHNY TSENTR ROSSIISKOI FEDERATSII VSEROSIISKY NAUCHNO-ISSEDOVATELSKY INSTITUT NEORGANICHESKIKH MATERIALOV IM. AKADEMIKA A.A. BOCHVARA) 27 July 2000 (27.07.00)	1, 3, 6, 8, 10-12, 14, 17, 19, 21-23, 25-28, 30, 32-37
X.P	RU 2158977 C1 (GOSUDARSTVENNY NAUCHNY TSENTR ROSSIISKOI FEDERATSII «VSEROSIISKY NAUCHNO-ISSEDOVATELSKY INSTITUT NEORGANICHESKIKH MATERIALOV IM. AKADEMIKA A.A. BOCHVARA ») 10 November 2000 (10.11.00)	1-8, 10-19, 21-22
A	WO 99/30332 A1 (SIEMENS AKTIENGESellschaft) 17 June 1999 (17.06.99)	1-37
A	RU 2044716 C1 (INSTITUT NEORGANICHESKOI KHIMII SO RAN) 27 September 1995 (27.09.95)	1-37



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
23 April 2001 (23.04.01)

Date of mailing of the international search report
24 May 2001 (24.05.01)

Name and mailing address of the ISA/ RU

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/RU 00/00521

C. (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5827798 A (AGENCY OF INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY et al) 27 October 1998 (27.10.98)	1-37
A	US 5409890 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 25 April 1995 (25.04.95)	1-37
A	WO 96/00448 A1 (IGC ADVANCED SUPERCONDUCTORS, INC.) 04 January 1996 (04.01.96)	1-37

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка №
PCT/RU 00/00521

A. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:		
H01B 12/00, H01B 13/00, H01L 39/24		
Согласно международной патентной классификации (МПК-7)		
B. ОБЛАСТИ ПОИСКА:		
Проверенный минимум документации (система классификации и индексы) МПК-7: H01B 12/00, H01B 13/00, H01L 39/24, C04B 35/00, H01J 1/62-1/76, H01L 39/00, 39/06		
Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки:		
Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, поисковые термины):		
C. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:		
Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
X	RU 2153724 C1 (ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ИМ. АКАДЕМИКА А.А.БОЧВАРА) 27.07.2000	1, 3, 6, 8, 10-12, 14, 17, 19, 21-23, 25, 28, 30, 32-37
X, P	RU 2158977 C1 (ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ "ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ИМ. АКАДЕМИКА А.А.БОЧВАРА") 10.11.2000	1-8, 10-19, 21-22
A	WO 99/30332 A1 (SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT) 17.06.1999	1-37
A	RU 2044716 C1 (ИНСТИТУТ НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ СО РАН) 27.09.95	1-37
<input checked="" type="checkbox"/> Последующие документы указаны в продолжении графы C. <input type="checkbox"/> Данные о патентах-аналогах указаны в приложении		
* Общие категории источников документов: A документ, определяющий общий уровень техники B более ранний документ, но опубликованный на дату международной подачи или после нее O документ, относящийся к устройству, элементу, эквиваленту и т.д. P документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета и т.д. "P" документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета		
T более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и претензий или посвященный изобретению X документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну и изобретательский уровень Y документ, порочащий изобретательский уровень в сочетании с одним или несколькими документами той же категории & документ, являющийся изобретением-аналогом * & документ, являющийся изобретением-аналогом		
Дата действительного завершения международного поиска: 23 апреля 2001 (23.04.2001)		Дата отправки настоящего отчета о международном поиске: 24 мая 2001 (24.05.2001)
Наименование и адрес Международного поискового органа: Федеральный институт промышленной собственности Россия, 121858, Москва, Бережковская наб., 30-1 Факс: 243-3337, телетайп: 114818 ПОДАЧА		Уполномоченное лицо: Н.Рыгалина Телефон № (095)240-25-91

Форма PCT/ISA/210 (второй лист)(июль 1998)

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка №
PCT/RU 00/00521

О. (Продолжение), ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ		
Категория	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	US 5827798 A (AGENCY OF INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY et al) Oct. 27, 1998	1-37
A	US 5409890 A (SUMTOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) Apr. 25, 1995	1-37
A	WO 96/00448 A1 (IGC ADVANCED SUPERCONDUCTORS, INC.) 04.01.96	1-37